

USO DE GLUTAMATO MONOSÓDICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPAS FRITAS CON BAJO CONTENIDO DE ACEITE

Carlos Silvera Almitrán

1. INTRODUCCIÓN

Podemos afirmar que las modificaciones en los hábitos alimentarios del hombre han determinado los sucesivos cambios en su imagen corporal a lo largo de la historia. Dichos cambios forman parte de las consecuencias a nivel social y cultural que, inevitablemente, tienen la evolución de la humanidad en general y los grandes hechos históricos en particular.

Como es lógico, el desarrollo de las civilizaciones, desde la Prehistoria, está vinculado con la tecnología alimentaria: desde la primera manifestación conocida del dominio del fuego, hasta el muchas veces increíble perfeccionamiento de la tecnología alimentaria de nuestros días, con todo su abanico de posibilidades.

Esta evolución contribuyó a la introducción de cambios en la dieta, expandiendo su espectro y, por lo tanto, proporcionando permanentemente nuevas opciones de alimentos. Esto demuestra que las posibilidades alimentarias se renuevan constantemente, y que el estudio de la alimentación humana y sus ramas, como la nutrición, no solo se modifica permanentemente, sino que es un área de descubrimiento permanente e inagotable (Silvera, 2006).

El glutamato monosódico (GMS) se conoce como compuesto químico desde hace ya 140 años, pero sus propiedades sensoriales y nutricionales comenzaron a valorarse de forma creciente a partir del 1908. Fue en ese año que el Dr. Kikunae Ikeda obtuvo el primer elemento aislado del alga laminaria y lo identificó como responsable del gusto umami, al mismo tiempo que se ponían de manifiesto sus propiedades únicas de sinergista de sabor.

Si bien este capítulo estará dedicado primordialmente a destacar algunas nuevas aplicaciones alimentarias de esta interesante molécula, es necesario recalcar, tal como ha sido destacado por otros científicos, que el glutamato es el aminoácido más abundante en las proteínas y que en una dieta normal y variada, que incluya hortalizas, queso, pescados y otros productos del mar, hongos, carnes y cereales (maíz, trigo, etc.), se consumen aproximadamente 20 g diarios de GMS (Walker & Lupien, 2000).

Otro aspecto importante de destacar es que la demanda biológica de glutamato de los seres humanos es importante, a tal punto que nuestro organismo sintetiza todo el glutamato necesario para cubrir las eventuales carencias del mismo en la alimentación, atendiendo a las necesidades tanto desde el punto de vista energético como estructural. Un hecho de no menor importancia es que este aminoácido está clasificado como no esencial. En términos científicos, implica que la naturaleza considera tan importante su participación en los procesos metabólicos vinculados a la vida que no deja libre a circunstancias externas, y por lo tanto aleatorias, el suministro del mismo al reservorio denominado *pool* de aminoácidos. Un hecho bien conocido, pero no por ello menos importante, es el alto contenido de ácido glutámico libre en la leche materna de la raza humana en comparación con otras fuentes exógenas de leche. Este aminoácido imparte el agradable sabor necesario para hacer la leche atractiva al lactante y, por esa vía, nutrirlo (Reeds *et al.*, 2000).

Varios investigadores encontraron interesante buscar nuevas aplicaciones industriales y nutrimentarias para el GMS, debido a que se trata de una molécula con singulares propiedades dentro del conjunto de ingredientes disponibles para la elaboración de alimentos y por ser considerada como inocua por las regulaciones nacionales e internacionales. Dentro de esas aplicaciones, se destacan algunas relacionadas a los estudios de porosidad de hortalizas con vinculación a la obtención de papas fritas a la francesa con menor contenido de aceite y a la elaboración de películas flexibles comestibles, entendidas estas últimas como biopolímeros de aplicación en la industria de alimentos.

La vida útil de un alimento está determinada por numerosas interacciones dentro del mismo, así como con el medioambiente. Muchas veces, estas interacciones conforman un complejo ecosistema. Por ejemplo, la transferencia de humedad en alimentos frecuentemente deriva en deterioro de la calidad de los mismos y se traduce en una variación de la actividad de agua y del contenido de agua del producto en función del tiempo (Donhowe & Fennema, 1992). Por lo tanto, la interacción entre la humedad y el alimento es crítica.

Por otra parte, muchas de las propiedades funcionales de una película de cobertura comestible están relacionadas con la resistencia al transporte de gases, vapores y solutos. A ese transporte se asocian los conceptos de transferencia de masa, difusión y permeabilidad, sobre los que se hará énfasis en este trabajo.

La permeabilidad de oxígeno y agua tanto en estado líquido como en vapor pueden incidir en la estabilidad biológica del alimento, porque se facilita la actividad enzimática, así como el crecimiento microbiano y su consecuente actividad metabólica. En alimentos deshidratados, que implican condiciones de estrés para los hongos contaminantes, la actividad metabólica puede generar micotoxinas y graves consecuencias de salud pública.

En relación a todas las propiedades y características anteriores, se establece una asociación con la porosidad de los alimentos. La inclusión de moléculas de GMS, en las estructuras porosas de los alimentos a ser fritos, permite disminuir la incorporación de grasa a los productos finales, por ejemplo las papas fritas a la francesa. En ese sentido, el estudio de la porosidad de la papa y de los mecanismos de incorporación de aceite durante el proceso de freír aporta interesantes orientaciones para el uso de glutamato monosódico en la fabricación de papas fritas a la francesa con menor contenido de aceite.

2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS, NUTRICIONALES Y TECNOLÓGICOS DEL CONSUMO DE PAPAS POR LOS SERES HUMANOS

Cuenta una vieja leyenda andina que los hombres cultivadores de la quinua dominaron durante muchos años a los pueblos de las tierras altas y, a fin de dejarlos morir lentamente, les fueron disminuyendo la ración de alimentos para ellos y sus hijos.

Ya al borde de la muerte los pobres clamaron al cielo y Dios les entregó unas semillas carnosas y redondeadas, las cuales, después de sembradas, se convirtieron en hermosas matas que tiñeron de morado las gélidas punas con sus flores.

Desconsolados y moribundos de hambre, los vencidos pidieron otra vez clemencia al cielo y una voz les dijo desde las alturas: Remuevan la tierra y saquen los frutos, que allí los he escondido para burlar a los hombres malos y enaltecer a los buenos.

Y así fue, debajo del suelo estaban las hermosas papas, que fueron recogidas y guardadas en estricto secreto. Cada mañana, los hombres de las punas añadieron a su dieta empobrecida una porción de papas y pronto se restablecieron, cobraron fuerzas y atacaron a los invasores que, viéndose vencidos, huyeron para no regresar jamás a perturbar la paz de las montañas. (Graves, 2006).

La mitología y la historia se unen a las tecnologías más modernas a la luz de los trabajos científicos que buscan las raíces culturales andinas y se proyectan al futuro mejorando cada día las variedades genéticas de las papas, apropiadas a las necesidades industriales actuales. Historia y tecnología alimentaria se re-actualizan en el esfuerzo de los estudiosos que abrevan en las fuentes del conocimiento ancestral para proyectarse hacia el futuro.

En los Andes existió una verdadera preocupación por la preservación de las subsistencias, para lo cual se valieron de diversas tecnologías. El medioambiente difícil en medio del cual se desarrollaron las culturas andinas, creó una necesidad y una permanente angustia por poseer y almacenar alimentos.

Si fallaban los medios de conservación o se reducía el número de alimentos aparecía el espectro del hambre y podía producirse el colapso de la reciprocidad. En otras palabras, la consecuencia de un desabastecimiento podía traer la desintegración del Estado o de una macroetnia.

Debido a esta urgencia, el hombre andino inventó diversos métodos necesarios para la conservación de las subsistencias secando o deshidratando los productos.

Las carnes se secaban al sol y con ellas se preparaba el charqui, ya fuese de llama o de venado. También deshidrataban las carnes de aves como perdices y palomas, además de las ranas. El camarón se secaba por medio de piedras o arena caliente. A este producto se le conocía con el nombre de anuka y se le embalaba en cestos o petacas de totora llamadas chipa.

El pescado seco y salado era una importante fuente alimenticia de los costeños y especialmente los serranos, y era materia de trueque entre ambos. Otros productos del mar fueron diversos moluscos que podían secarse, como las machas, o que podían usarse para preparar una jalea incorruptible que se usaba en la confección de chupes o sopas.

Se ha estudiado con detenimiento el uso del cochayuyo o “yerba acuática” en la alimentación del Perú moderno y también antiguo en la cual se incluyen las algas de agua dulce pero principalmente las de agua de mar. Distintas variedades de algas se usaron en las comidas y la más corriente fue la Porphyra.

En la actualidad, el cochayuyo se come fresco en la costa con el ceviche, los picantes y las sopas, y también seco suelto o en plantas en los centros urbanos de la sierra.

*Los tubérculos también se preservaron de distintas formas. Las ocas (*Oxalis tuberosa*) y la machua (*Tropaeolum tuberosa*) se secaban al sol y soleados se ponen dulces y entonces se las llamaba cahui. Sin embargo, el tubérculo que se puede conservar por periodos indefinidos es la papa (*Solanum tuberosa*) la cual se sometía a un complicado proceso de deshidratación. Se usó de preferencia la variedad amarga y la faena se realizaba a 4 mil metros sobre el nivel del mar.*

*Las diversas suertes de chuño varían según las calidades de papa y los métodos empleados (el proceso dura por lo general varias semanas). Entre los productos obtenidos de papa destaca la moraya (del idioma quechua), que es un producto que se obtiene a partir de un proceso de secado de una variedad de papas amargas (*S. juzepczukii* y *S. curtilobum*) ricas en glicoalcaloides, típica de la zona alto andinas. Las papas de variedad dulce se acomodan por tamaño sobre una superficie plana y luego se exponen a la intemperie durante cuatro o cinco noches con sus días pasando por el frío nocturno y el ardiente sol del mediodía. Después son pisadas con cuidado por las mujeres para quitarles la cáscara y extraerles la humedad restante. Esto se repite hasta terminar de secar (Giannela, 2004; Rostworowski, 2010a; 2010b).*

Una lectura cuidadosa del texto anterior nos introduce en la antigua tecnología precolombina en la que están presentes distintos métodos de conservación de alimentos por deshidratación incluyendo procesos muy similares a la de secado por congelación *freeze drying*, y se utilizó a la naturaleza como fuente alternativa de energía pasando “por el frío nocturno y el ardiente sol del mediodía”.

Estas antiguas civilizaciones no solo desarrollaron tecnologías de procesamiento; también, poseían un profundo conocimiento de los alimentos y sus propiedades nutricionales y sensoriales. La selección de los alimentos mencionados se rescatan en documentos históricos: “la carne de llama o venado se secaba al sol”, “el pescado seco y salado era una importante fuente alimenticia para costeños y serranos”, “se fabricaban sopas con moluscos secos”, “el empleo de algas marinas secas para la alimentación”. Nos hablan de una marcada preferencia por alimentos que hoy conocemos como ricos en ácido glutámico libre, sus derivados y los 5'-ribonucleótidos.

Por su parte, las papas fritas son mucho más recientes. Si bien los belgas reivindican para sí el desarrollo de las papas fritas, existen referencias a las mismas, incluyendo las papas *soufflé*, durante las guerras napoleónicas. Puede, sin embargo, aceptarse como valedero que los belgas fueron los primeros en explotar la producción comercial e industrial de este apetitoso platillo. Asimismo, crónicas de la Primera Guerra Mundial cuentan que las tropas americanas e inglesas acantonadas, o atravesando Bélgica, probaron las papas fritas y las denominaron *french fries*, motivados por el hecho de que los proveedores, belgas, hablaban en francés. Lo realmente relevante es que se abrió el mercado a un producto de gran popularidad y que hoy en día incide en el comercio mundial con valores que rondan los 100 billones de dólares anuales.

Hoy se puede observar que las papas fritas, la sal y el *ketchup* han tenido historias convergentes al sabor umami. Todos los restaurantes de comidas rápidas contemporáneos sirven estas tres especies alimentarias en conjunto si bien tienen historias separadas por el tiempo y la geografía.

Como vimos anteriormente, las papas tienen su origen en tierras andinas de la América precolombina, con por lo menos tres mil años de historia. Los cultivos y sociedad conformaban un entramado cultural ligado a la consolidación y la evolución de estos pueblos que miraban hacia el mar y el cosmos con las espaldas sólidamente asentadas en la cordillera.

Respecto del origen *ketchup*, la teoría más difundida indica que dicha palabra proviene de *ke-tsiap*, del dialecto hablado en la isla Amoy, cerca de China, donde se aplicaba para denominar a un condimento a base de pescado en salmuera. Otras teorías coinciden en que en realidad la palabra maya *kechap* dio origen a *ketchup* o *catsup*. Más tarde, a finales del siglo XVII, el nombre *ketchup* y quizás también algunas muestras del producto llegaron a Inglaterra, donde apareció publicado por primera vez en 1690 como *catchup* (Planet Ketchup Heinz, 2019).

El primer tratado de farmacología conocido, *Peng-tzao-kanmu*, escrito en China hace aproximadamente 5000 años, menciona 40 tipos de sal. Este compuesto ha formado parte de la alimentación humana desde tiempos inmemoriales y ha cumplido funciones nutricionales y comerciales, y ha generado verdaderos nudos de tránsito de mercaderes tanto en Oriente como en Occidente. Las minas de Salzburgo, como lo indica su nombre, dieron notoriedad e importancia estratégica a esta zona austriaca (Salazar, 2010).

Entonces, papas, sal y *ketchup* son ingredientes de uno de los platos más populares de los tiempos modernos, con aportes históricos de América, Europa y Asia. Estos ingredientes se remontan a milenios y confluyen en la sabiduría ancestral de promover la generación de glutamato libre, tanto en el pescado deshidratado en salmuera como en la salsa de tomates, ambos ricos en este promotor del gusto umami y la sinergia de los mejores perfiles de sabor y aroma de la papa.

También es cierto y merecedor de la más respetuosa atención el hecho de que, para muchos nutricionistas, las papas fritas están catalogadas dentro de lo que se llama *junk foods* (comida “basura” o de “baja calidad nutritiva”). Sin embargo, en contraste con este calificativo, es innegable que se trata de un alimento preferido por muchos consumidores sobre todo en países, regiones y ciudades de altos estándares de vida, según los patrones de la cultura occidental. Las objeciones más incisivas respecto al consumo de papas fritas están vinculadas con su alto contenido calórico, la presencia de grasas “trans” y la formación de acrilamidas en el proceso de fritado a alta temperatura.

Estudiar las formas de salvar estas inconveniencias plantea un desafío para la comunidad científica vinculada a la ciencia y tecnología de alimentos. Muchas

son las propuestas y seguramente el conocimiento acumulado que generará soluciones para tranquilidad y satisfacción culinaria de los consumidores. Estas también tendrían que satisfacer la atenta supervisión de los organismos que regulan y reglamentan el comercio y la elaboración de alimentos, tales como *Codex Alimentarius* (FAO/OMS), Agencia Reguladora de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América (FDA) y muchas otras organizaciones nacionales e internacionales.

3. LAS PAPAS Y SUS PROPIEDADES FÍSICAS

3.1. Estudio de la porosidad

El proceso de fritado de papas es esencialmente complejo debido a que el número de variables que interaccionan es muy grande. El concepto “papa” ya de por sí implica diferenciar cientos de variedades, con distinto grado de maduración, contenido de humedad, almidón, azúcares reductores, densidades, porosidades y otras muchas características que inciden en la calidad del producto final. Además, habría que observar las variables de proceso como temperatura del aceite, tiempo de fritado, tipo de grasa o aceite de fritura, procedimientos industriales o culinarios y otras como el blanqueo, deshidratado (en aire o por congelación), impregnación por ósmosis o al vacío, y recubrimiento con películas comestibles.

Cuando hablamos de propiedades físicas de las papas nos referimos, en realidad, a dos conceptos vinculados con el éxito de un proceso comercial de fritado de papas: la calidad agronómica, y las propiedades físicas y microestructurales.

Por un lado, se encuentran las propiedades vinculadas a la calidad agronómica relacionada con aspectos físicos, pero de gran impacto en la calidad comercial, tales como dimensiones axiales, esfericidad, ángulo de reposo, densidad real, densidad aparente y porosidad a granel (ver Glosario al final del texto). También son relevantes las propiedades mecánicas o estructurales intrínsecas como resistencia a la compresión, al corte, al punzonamiento y coeficiente de fricción.

Por su parte, se encuentran las propiedades físicas y microestructurales vinculadas al efecto que tienen el procesamiento industrial y a las características que afectan directamente a la calidad del producto final: contenido de almidón, azúcares reductores, porosidad de la matriz vegetal de los tubérculos individuales, contenido de humedad, etc.

Estos aspectos influyen directamente sobre los parámetros de calidad y en el rendimiento comercial de las papas fritas. A modo de ejemplo consideremos

que la cantidad de azúcares reductores está directamente vinculada a la densidad real del tubérculo. Por otra parte, este es un factor de oscurecimiento por pardeamiento debido al incremento de las de las reacciones de Maillard, indeseables para este producto. La cantidad de almidón libre luego del proceso de cortado de las papas en bastones u hojuelas (*chips*), es un factor primordial de deterioro prematuro del aceite de frito. Se debe resaltar también, que la geometría del tubérculo incide claramente en el rendimiento comercial de las papas fritas, pues las formas irregulares inciden en que haya un mayor desperdicio por astillas y trozos de descarte así como por la diferencia de tamaño del corte de bastones u hojuelas.

Las propiedades reológicas de las papas inciden claramente en la calidad del corte y aquellas están íntimamente ligadas con la forma de los bastones. En el proceso de corte de los bastones, la papa sufre dos tipos de “estrés”: el normal que produce deformación por compresión y el de cizalla, que produce deformación por arrastre, *strain*. Dependerá de la variedad y maduración de la papa, del filo de las cuchillas de corte y, fundamentalmente, del diseño de la máquina de corte, por ejemplo presión normal o tangencial al corte.

4. LA IMPREGNACIÓN AL VACÍO

Las primeras experiencias fueron difundidas por artesanos altamente calificados de la industria charcutera alemana, en un artículo de innegable practicidad y valor histórico. La primera información se remonta a la década de 1970, en Alemania, y se refiere a la impregnación al vacío de productos cárnicos, aunque también se reportan aplicaciones al curado de maderas.

Los charcuteros alemanes comenzaron sus experiencias basados primeramente en el conocimiento del concepto “vacío” y sus implicaciones tecnológicas. El objetivo era conocer la forma en que la regulación del vacío promueve el ingreso de sal, obteniendo productos similares en calidad a los salados por métodos convencionales, tanto en seco como en vía húmeda.

El acondicionamiento en un recipiente hermético con presión negativa facilita la difusión de las moléculas de sal disminuyendo radicalmente el tiempo de impregnación y posibilitando una distribución más homogénea. Como se verá más adelante, con ejemplos en materiales vegetales, la impregnación al vacío permite la oclusión de poros, fracturas e intersticios con moléculas de sal promoviendo la retención de aroma, color y jugosidad. Todos estos conceptos han llevado a que en las últimas décadas los científicos del sector alimentario presten atención directa a la aplicación de esta tecnología.

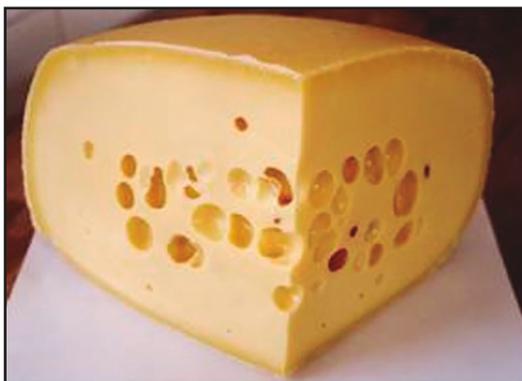
4.1. El ensayo con salame (Dauerwurst)



Salame (Dauerwurst)

Efectivamente, hoy en día el procedimiento tiene relevancia científica y día a día se encuentran nuevas aplicaciones en prestigiosos centros de investigación donde se está trabajando al respecto.

Es así que se han desarrollado tecnologías vinculadas a la impregnación al vacío con aplicación, además de las originarias a carnes y productos cárnicos, a frutas y hortalizas (Vidales & Alzamora, 1999; Paes *et al.*, 2007; Fito *et al.*, 2001a), a quesos tipo *manchego* (Chiralt & Fito, 1997; Andrés *et al.*, 1997), a quesos tipo *suizo* en investigaciones de apoyo a la industria (Crosa *et al.*, 2005) y muchos otros.



Queso tipo suizo

El sistema de impregnación al vacío (SIV) se basa en un mecanismo de transferencia de masa por aplicación de presiones subatmosféricas, frecuentemente utilizando pulsos en los cuales se alternan vacíos residuales del orden de 40 mmHg – 80 mmHg con presión atmosférica. Este procedimiento posibilita la impregnación de un sistema alimenticio poroso con soluciones, por ejemplo salinas, dando lugar a procesos de salado de alimentos en forma más rápida, eficiente y homogénea.

La penetración a poros y capilares está vinculada a la fracción volumétrica de la pieza del alimento que es susceptible de llenarse con líquido externo (X) y es función de la presión capilar p_c , de la presión del sistema (p) y de la porosidad efectiva del producto (ϵ) (Fito, 1994, Fito *et al.*, 2001b). A partir de la ecuación siguiente, se deduce que la penetración capilar aumenta con la disminución de la presión en el sistema, o sea con el aumento del vacío en la cámara de impregnación.

$$X = \epsilon \cdot \left[\frac{pc}{p + pc} \right] \quad (1)$$

Al completarse cada pulso de presión atmosférica – vacío – presión atmosférica en la cámara de impregnación, tiene lugar un mecanismo hidrodinámico que favorece la penetración del líquido en el alimento (Fito *et al.*, 1996; Salvatori *et al.*, 1998). Los modelos matemáticos que permiten predecir la fracción volumétrica del líquido de impregnación han sido desarrollados ampliamente en la bibliografía citada.

Este procedimiento no solo es compatible con la innovación tecnológica asociada a la menor incorporación de aceite a las papas fritas y al eventual procedimiento de fritado a temperaturas sensiblemente menores a los tradicionales 180 °C, sino que abre un interesante abanico de posibilidades para el desarrollo de nuevos productos por incorporación de sabores especiales a las papas en el momento de la impregnación o en etapas posteriores al fritado. El GMS ocluido en los poros y capilares del tejido vegetal podrá liberarse oportunamente en la masticación, ejerciendo su ya milenaria capacidad sinérgica sobre los sabores propios de la papa frita o de los condimentos adicionados y el delicado quinto gusto.

5. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE FRITADO EN LA FORMACIÓN DE ACRILAMIDAS Y EN EL CONTENIDO GRASO DE LAS PAPAS FRITAS

5.1. Tiempo, temperatura, tipo de aceite. Formación de acrilamidas. Uso de GMS para disminuir la temperatura de fritado

La investigación de diversos grupos de expertos en ciencia y tecnología de alimentos pone de manifiesto que la formación de acrilamidas durante el proceso de fabricación de papas fritas está directamente relacionada con el factor tiempo-temperatura de fritado. Es frecuente el uso de temperaturas de fritado de aproximadamente 180-185 °C, aunque algunas reglamentaciones nacionales ya están recomendando el uso de menores temperaturas, justamente para disminuir la formación de compuestos indeseables.

En el pasado, la aplicación de la Física y los principios clásicos de la Ingeniería Química, combinados con cierta dosis de empirismo, eran suficientes para explicar los fenómenos del proceso de alimentos a nivel macro. Sin embargo, esta aproximación macro ha conllevado a una contribución limitada a (entender) los principios fundamentales de la ingeniería de los productos alimenticios algunas veces justificada por la "complejidad" de los materiales alimenticios, la escala reducida de los análisis y la dificultad de generar datos a nivel "micro". (Quevedo & Aguilera, 2000).

Del análisis del texto surge que la microestructura fue, en el pasado, la variable más importante obviada por los ingenieros y científicos alimentarios. Si bien la comunidad científica ha puesto mayor énfasis en estos estudios, sigue siendo totalmente cierto que para avanzar en la comprensión de las propiedades y oportunidades de los alimentos necesitamos profundizar en los detalles a nivel de tejidos, células y moléculas involucrados a los procesos de elaboración de alimentos. De ese modo, se podría mejorar la calidad del fritado de papas en la fabricación industrial o elaboración culinaria en restaurantes y hogares. También es necesario tener en cuenta la visualización de las modificaciones que se producen en el alimento, de ser posible en tiempo real y por métodos no destructivos.

La fritura por su parte es una operación unitaria cuyo resultado en las papas fritas se mide en la calidad final del producto, verificando tanto las propiedades sensoriales como las nutricionales. Entre otras cosas, el uso de temperaturas "altas" como las mencionadas anteriormente tienen varias conveniencias desde el punto de vista sensorial, por ejemplo la formación de una corteza (*crust*) muy apetecida por los consumidores, con un centro tierno. Esto, con temperaturas del orden de 180-185 °C, se obtiene en las primeras etapas del fritado.

En contraste, en condiciones normales, el uso de temperaturas más bajas, tendría por efecto una menor y más lenta formación de corteza. Los principales problemas tecnológicos asociados a la disminución de la temperatura de fritado se vinculan con el aumento de la incorporación de aceite debido a una estructura microporosa más abierta, aumento del tiempo de fritado, obtención de coloraciones indeseadas, aumento del contenido de humedad y dilución de sabores.

Durante el proceso de fritura, ya sean en bastones o en hojuelas “*chips*”, la papa sufre transformaciones que determinan los atributos de calidad del producto final como por ejemplo contenido de aceite, crocancia, rugosidad, porosidad, terneza, color y contenido de humedad.

El fritado en inmersión profunda es el proceso de elaboración más comúnmente utilizado en la industria, con una complejidad intrínseca que involucra la transferencia de calor y masa, con complejas modificaciones de la estructura tisular del bastón u hojuela (Figura 19.1).

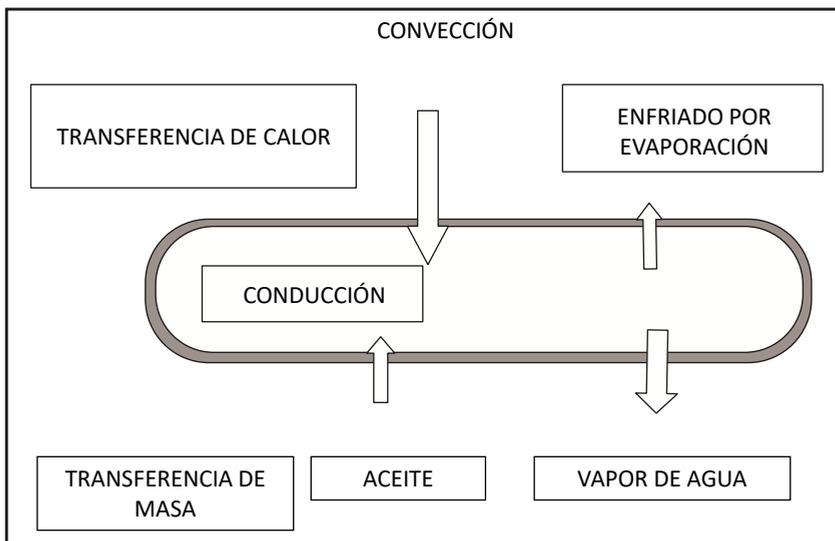


Figura 19.1 – Transferencia de calor y masa en un bastón de papa. La comprensión de los procesos de transferencia induce al desarrollo de nuevas tecnologías.

Fuente: Pulgar, 2006.

Siguiendo las tendencias marcadas por las recomendaciones nutricionales, es importante que los ingenieros alimentarios orienten sus investigaciones hacia la obtención de productos que permitan reducir la ingestión de aceites, pero respetando los factores culturales y las preferencias gastronómicas de los consumidores. Por este motivo, dedicar esfuerzos a la elaboración de papas fritas,

uno de los platos preferidos y popularmente aceptados, es una oportunidad de gran valor tanto desde el punto de vista tecnológico como comercial.

Los trabajos llevados a cabo en la Pontificia Universidad Católica de Chile, por Pulgar (2006) y por Schuten & Slotboom (2004), inducen a dos conclusiones que pueden ser consideradas como orientadores para la búsqueda de nuevos desarrollos que permitan obtener papas fritas con buenas características sensoriales, menor contenido de aceite y menor formación de acrilamidas (Figura 19.1).

El primero de los trabajos mencionados concluye que el principal mecanismo para la incorporación de aceite parece ser el flujo hidráulico del mismo. Este flujo es consecuencia del vacío generado en los poros de la papa por evaporación repentina del agua a alta temperatura de fritado, teniendo menor importancia cuantitativa la incorporación por difusión simple.

En el segundo de los trabajos, se concluye que si bien el contenido de aceite de las papas fritas aumenta con el tiempo de fritado, no se encuentra un aumento del contenido de aceite (en base seca) debido a la variación de la temperatura del aceite, si se mantiene el tiempo constante. En definitiva, de acuerdo a estos trabajos, se concluye que, si los tiempos de fritado son constantes, la incorporación de aceite está determinada por el contenido de humedad del tubérculo. Trabajos de muy diferente orientación científica y tecnológica presentan una armoniosa cadena de conclusiones, consideradas de gran utilidad para el diseño de nuevas alternativas de procesamiento.

El GMS puede ser un componente clave para la obtención de las papas fritas con aquellas deseadas características. Para la comprensión de la idea central de este proceso se deben considerar los siguientes factores:

1. El GMS es un componente común, de aplicación en alimentos como papas fritas o *snacks*.
2. No tiene limitaciones de uso, su estatus reglamentario en la FDA es de ser un compuesto generalmente reconocido como seguro (GRAS), estando también clasificado como un aditivo alimentario de uso seguro por el *Codex Alimentarius*.
3. A diferencia de la sal, cuyo gusto aumenta con su concentración en el alimento, el GMS tiene su máxima potencia de sinergismo de sabor en valores próximos a 0,3% en productos como los considerados en este trabajo. Además, no tiene mayor capacidad de potenciar sabores si se aumenta su concentración.

La idea rectora para este desarrollo pasa por la impregnación en condiciones de vacío SIV (*sous-vide*, un término francés que significa “al vacío”) de papa en bastones con una solución de cloruro de sodio y GMS. Como consecuencia de este tratamiento se produce la transferencia de masa por impregnación del tejido de papa con los solutos y la salida de agua de los poros, los cuales se llenan parcialmente con sal y GMS.

Las condiciones de trabajo para estos ensayos orientadores fueron en dos pulsos con las siguientes características:

Primer pulso: Tiempo de vacío, 5 min; 40 mmHg de presión residual; tiempo a presión atmosférica, 20 min.

Segundo pulso: Tiempo de vacío 5 min; 40 mmHg de presión residual; tiempo a presión atmosférica, 15 h.

Las soluciones de impregnación fueron seis (Tabla 19.1)

Tabla 19.1 – Datos experimentales.

Nº	NaCl (%)	MSG (%)
1	0,5	0
2	0,5	0,03
3	0,5	0,3
4	0,5	3
5	0	0,3
6	0	0

Se realizó seguimiento de los cambios de peso de los bastones de papa luego del proceso de impregnación y se encontró que el mejor cambio de peso correspondió a la solución número 4 con una pérdida de peso de 19%. Este resultado implica un claro efecto de disminución del peso de los bastones con el aumento del porcentaje de GMS.

Las papas en bastones después de ser escurridas durante 30 min a temperatura ambiente, fueron sometidas al proceso de prefritado a una temperatura de 180° durante 90 segundos y posterior escurrimiento del aceite (Figura 19.2).

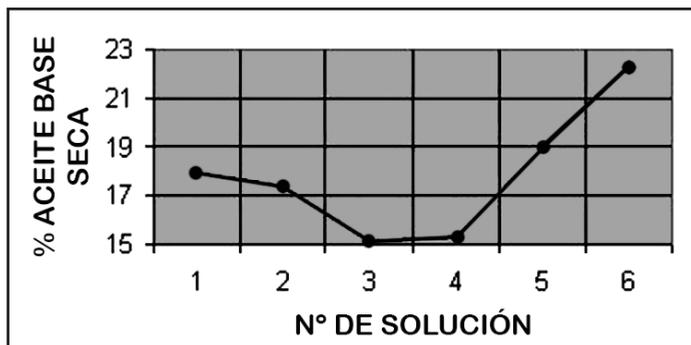


Figura 19.2 – Papas impregnadas con GMS y sal.

La menor incorporación de aceite con la presencia de las dos moléculas, tanto de sal (masa molecular 58,5 u) como de GMS (masa molecular 187,13 u), nos hace pensar en la posibilidad de que el ingreso de las dos sales, sustituyendo parcialmente al agua durante el proceso de impregnación, disminuye notoriamente las burbujas de evaporación de vapor de agua dentro de los poros del tejido de los bastones y, por lo tanto, el flujo hidráulico del aceite dentro de los mismos.

Otro aspecto a considerar está relacionado al tiempo de fritado y a sus consecuencias sobre la disminución de la formación de acrilamidas. Estos compuestos son indeseables desde el punto de vista de la salud pública y la formación de la corteza, pero son deseables desde el punto de vista sensorial.

Los ensayos preliminares para el proceso de prefritado aportan interesantes perspectivas. Las papas a fritar, con un 19% menos de agua, insumen notoriamente menor cantidad de calor latente para el cambio de estado vaporizando agua y mayor cantidad de calor sensible para actuar sobre la materia seca. Por tanto favorece un menor ingreso de aceite, pero una formación de la corteza más rápida y a menor temperatura, lo cual es compatible con una menor formación de acrilamidas. Estos resultados están en correspondencia con lo que expresa extensamente la bibliografía.

La evaluación sensorial, comparando papas en bastón fritas a 165 °C y a 180 °C realizadas por ensayos triangulares y de preferencia, indicó que no hay diferencias significativas en color y textura de costra. Esta última, medida como satisfacción en la mordida.

En definitiva, los grandes conceptos asociados a la innovación en nuevas aplicaciones se vinculan a la moderación de la temperatura de fritado, para lo cual se recomienda el artículo de Haase *et al.* (2003). Este trabajo trata sobre la

estructura porosa del alimento, las dimensiones de las moléculas utilizadas para sustituir agua en los poros de la papa, los cambios estructurales del almidón durante el fritado y el equipo de impregnación al vacío.

No es el propósito de este capítulo ofrecer resultados concluyentes que tomen en cuenta los análisis microestructurales, sino hacer un aporte a investigadores expertos en el área para buscar oportunidades de nuevas aplicaciones para un molécula que ha demostrado, a través de 100 años de historia, cumplir con las más exigentes reglamentaciones relativas a la seguridad alimentaria y que, a la vez, proporciona sorprendentes posibilidades tecnológicas.

6. GLOSARIO (BUITRAGO ET AL., 2004)

- *Ángulo de reposo: cuando un determinado material, al vaciarlo en una superficie horizontal, fluye formando una pila, que es una característica de sí mismo. El ángulo más inclinado del material en relación con el plano horizontal que se forma sin deslizarse es lo que se llama ángulo de reposo.*
- *Densidad y porosidad: la densidad de los sólidos se define como la masa del sólido dividida entre el volumen del sólido. La porosidad, o porcentaje de espacios vacíos de materiales no consolidados, es de gran utilidad en diversos procesos, como el paso de aire para su secado, almacenamiento, diseño de silos, separación de elementos indeseables, etc.*
- *Dimensiones axiales: la forma y tamaño son inseparables en un objeto físico y el conocimiento de las dimensiones axiales son necesarios para que un objeto sea descrito satisfactoriamente.*
- *Esfericidad: el fundamento geométrico del concepto de esfericidad descansa sobre la igualdad isoperimétrica de una esfera.*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉS, A. *et al.* “Distribution of salt in Manchego type cheese after brining”. In: JOWITT R. *Engineering and Food at ICEF 7*. Brighton, Sheffield Academic Press, 1997, pp. 133-136.

BUITRAGO, G. V. *et al.* “Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia”. *Rev bras Eng Agric Ambient.* 8(1): 102-110. 2004.

CHIRALT, A. & FITO, P. “Salting of manchego-type cheese by vacuum impregnation”. *Conference Proceedings*. 1997. Disponible en <10.1007/978-1-4615-6057-9_12>. Acceso en 13/1/2020.

CROSA, M. *et al.* “Desarrollo de una línea de salado por impregnación al vacío de quesos para una PYME Láctea”. In: Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos, INNOVA. Montevideo, 2005. Disponible en <https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=983>. Acceso el 13/1/2020.

DONHOWE, I. G. & FENNEMA, O. “The effect of relative humidity gradient on water vapor permeance of lipid and lipid-hidrocolloid bilayer films”. *Journal of the American Oil chemists’ Society*. 69(11): 1081-1087, 1992.

FITO, A. *et al.* “Acoplamiento de mecanismos hidrodinámico y los fenómenos de deformación-relajación durante los tratamientos de vacío en los sistemas sólidos porosos líquido de alimentos”. *Revista de Ingeniería de Alimentos*. 27(3): 229-240, 1996.

FITO, P. “Modeling of vacuum osmotic dehydration of food”. *Journal of Food Eng.* 22(1-4): 313-328, 1994.

FITO, P. *et al.* “Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development”. *J Food Engineering*. 49(2-3): 175-183. 2001a.

FITO, P. *et al* (ed.). *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation*. Lancaster, Technomics Publishing Co., 2001b.

GIANELLA, T. “Chuño blanco, ‘tunta’ o ‘moraya’: un proceso natural de conservación”. *LEISA Revista de Agroecología*. 20(3), 2004. Disponible en <<http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-20-numero-3/2094-chuno-blanco-tunta-o-moraya-un-proceso-natural-de-conservacion>>. Acceso el 13/1/2020.

GRAVES, C. (Ed.). *La papa tesoro de los Andes: de la agricultura a la cultura*. 2. ed. Lima, Centro Internacional de la Papa, 2006. Disponible en <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/05/la_papa_tesoro_de_los_andess.pdf>. Acceso el 13/1/2020.

HAASE, U. N.; MATTHAUS, B. & VOSMANN, K. “Acrylamide formation in foodstuffs - Minimising strategies for potato crisps”. *Deutsche Lebensm. Rund.* 99(3): 87-90, 2003.

PAES, S.; STRINGARI, G. & LAURINDO, J. “Effect of vacuum and relaxation periods and solution concentration on the osmotic dehydration of apples”. *International J Food Sci Technol*. 42(4): 441-447, 2007.

PLANET KETCHUP HEINZ. *Historia del Ketchup*. 2019. Disponible en <<https://www.heinzbrasil.com.br/sobre>>. Acceso el 13/1/2020.

PULGAR, C. E. C. *Estudio de la distribución del aceite en rodajas de papa frita*. Santiago, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, 2006 (Memoria para optar al título de Ingeniero de Alimentos). Disponible el <http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/cocio_c/sources/cocio_c.pdf>. Acceso el 13/1/ 2020.

QUEVEDO, R. & AGUILERA, J. M. “Caracterización de la Topografía de Superficies en Biomateriales”. 2000. Disponible en <<https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/magistrales/M-7.pdf>>. Acceso el 13/2/2020.

REEDS, P. J. *et al.* “Intestinal glutamate metabolism”. *J Nutrit*. 130(4S Suppl): 978S-982S, 2000.

ROSTWOROWSKI, M. D. C. 1. *La historia de los incas. Incas*. ISBN 978-612-4069-47-5. Lima, Producciones Cantabria, 2010a, pp. 17–25.

ROSTWOROWSKI, M. D. C. 2. *La ocupación del Cusco. Incas*. ISBN 978-612-4069-47-5. Lima, Producciones Cantabria, 2010b, pp. 26–35.

SALAZAR, E. “Historia de la sal en el Ecuador Precolombino y Colonial”. *Antropología Cuadernos de investigación*. 10: 13-29, 2010. Disponible en <<https://doi.org/10.26807/ant.v0i10.46>>. Acceso el 13/1/2020.

SALVATORI, D. *et al.* “The Response of Some Properties of Fruits to Vacuum Impregnation”. *Journal of Food Process Eng*. 21(1): 59-73, 1998.

SCHUTEN, H. G.; GIJSSEL, J. & SLOTBOOM, E. “Effect of frying conditions on the fat content of French fries: final report”. 2004. Disponible en <<https://edepot.wur.nl/35103#:~:text=Longer%20frying%20times%20results%20in%20higher%20fat%20content.&text=Higher%20temperatures%20result%20in%20higher,in%20a%20lower%20fat%20content.>>. Acceso el 13/1/2020.

SILVERA, P. *La imagen corporal desde la Edad Media hasta nuestros días*. Universidad Católica del Uruguay, 2006 (Trabajo especial de Licenciatura de Nutrición).

VIDALES, S. & ALZAMORA, S. “Impregnación a vacío de frutilla entera: influencia sobre textura, aw, sólidos solubles e integridad celular”. *In: VIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Rafaela (Santa Fe), 13-16/5/1999.

WALKER, R. & LUPIEN, J. R. “The Safety Evaluation of Monosodium Glutamate”. *The Journal of Nutrition*. 130(4): 1049S-1052S, 2000.